

Hydrogeologie krasového systému pramen pod Domášovem - Tetínský vývěr: nová pozorování a data

Hydrogeology of karst system of Spring Domášov - Tetín resurgence: new observations and data

Karel Žák ¹, Helena Vysoká ², Jiří Bruthans ², Jaroslav Hlaváč ³

0. Abstract

Several hydrogeologically important objects of the hydrogeological system Spring Domášov – Nová Cave at Damil – Tetínský vývěr karst resurgence in the Czech Karst were monitored since catastrophic floods in summer 2002 until the end of 2003. Water chemistry is characterized by high content of sulfate and nitrate. Stable isotope data indicate that both sulfates and nitrates are dominantly derived from agricultural activity and that sulfidogenic sulfates represent only a minor component. Slow groundwater level drop in the Nová Cave and in the Tetínský vývěr Cave during the monitored period indicate, that in spite of large altitude differences between the monitored objects the groundwater flow is slow and groundwater residence time relatively long. The studied objects are not interconnected with large, open karst-type conduits. The upper branch of the resurgence, the Tetínský vývěr Cave near the main Berounka River, acts as periodic estavelle (periodic alternating spring-ponor cave).

1. Úvod

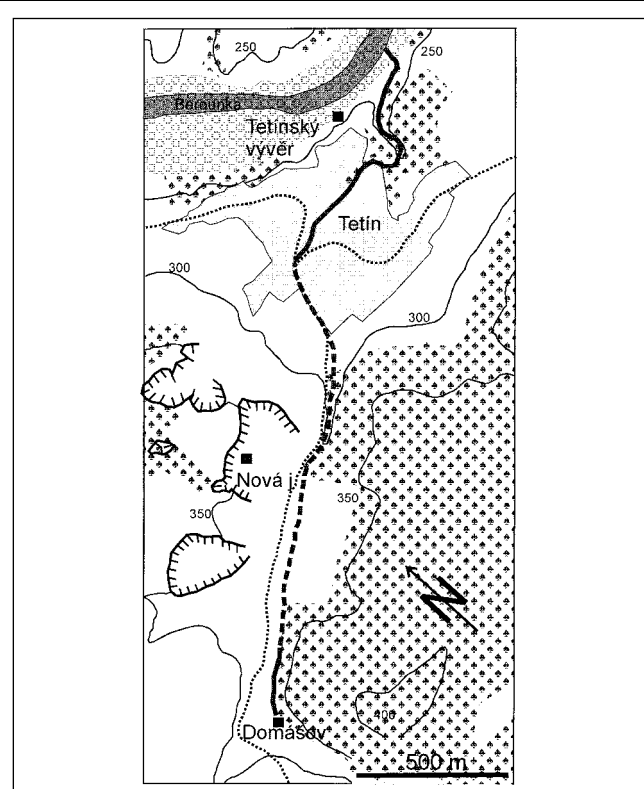
V oblasti Českého krasu se klasické krasové systémy se soustředěným ponorem povrchových vod do podzemí a s jejich následným vývěrem na povrch vyskytují jen výjimečně. Většina jeskynních systémů Českého krasu vznikla v souvislosti s pohybem říčních vod velkých alochtonních řek, nebo v důsledku plošné, nesoustředěné infiltrace (Bruthans a Zeman 2000, 2001). Několik systémů se soustředěným ponorem a vývěrem zde však známe, například lze jmenovat jeskyni Arnika u Svatého Jana pod Skalou, která je občasným ponorem přívalových vod, které se potom mísí s podzemními vodami s velkou dobou zdržení a vyvěrají společně ve Svatém Janu pod Skalou (Žák a kol. 1996, 2001). Jedním ze zajímavých a z hlediska hydrogeologie poměrně málo prozkoumaných hydrogeologických systémů typu ponor-vývěr této oblasti je systém Pramen pod Domášovem – Tetínský vývěr (obr. 1).

Po stránce geologické představuje tento hydrogeologický systém podzemní krasové odvodnění asymetrické synklinály devonských vápenců Damilu (tj. z. části holyňsko-hostimského synklinoria) směrem do údolí Berounky. Strukturní vztahy na jv. straně synklinály Damilu jsou však značně nejasné. Tetínské nasunutí ve spodní části území má v geologických mapách různých autorů opačný sklon a ve větší části území je celý prostor mezi Damilem a Kodou pokryt mladšími pokryvnými útvary.

V letech 2002 až 2004 byla krasové hydrogeologii tohoto území poprvé věnována větší výzkumná pozornost, která byla podmíněna několika skutečnostmi:

- během povodní v srpnu 2002 fungoval Tetínský vývěr zpočátku krátkodobě jako dočasný ponor říčních povodňových vod, po poklesu hladiny vody v řece byl potom po poměrně dlouhou dobu vývěr aktivní svojí horní větví (tj. jeskyní č. 13-001 „Tetínský vývěr“);
- zima 2002/2003 byla po anomálních srážkách předchozího léta také srážkově bohatá, takže hladina podzemních krasových vod byla v únoru/březnu 2003 nejvyšší za posledních několik desetiletí (Zapletal, Kolčava a Vysoká 2003);
- dne 18.4. 2003 jeskyňáři České speleologické společnosti (ZO 1-02 Tetín) odkryli po dlouhá léta zavalený vchod Nové jeskyně na Damilu (jeskyně č. 12-003). Po otevření jeskyně byla hladina podzemní vody v jeskyni překvapivě vysoko, takže většina jeskyně nebyla přístupná.

Podmínky v roce 2002 a v navazujícím období tedy byly mimořádně vhodné na to, abychom se o hydrogeologii systému Tetínského vývěru dozvěděli nové informace. Vzhledem k příznivým okolnostem byl v několika obdobích stanoven chemismus vod v jednotlivých objektech, byl sledován postupný pokles hladin



Obrázek 1. Situační mapka se zakreslením jednotlivých studovaných objektů. Přerušovanou čarou občasný vodní tok, kroužkovou šrafovou niva řeky Berounky, listovou šrafovou lesní porosty.

Figure 1. Location of studied objects. Shaded line – intermittent water stream; circles – alluvial plain of the Berounka River; leaf – forests.

v Nové jeskyni na Damilu a v Tetínském vývěru a pro poznání chování celého systému byly použity přírodní i umělé stopovače podzemních vod. Problematikou Tetínského vývěru se ve stejném období zabýval i P. Nakládal, který svoje dílčí poznatky již publikoval (Nakládal a kol. 2004). V současnosti (léto 2004) jsou plánovány jeskyňářské prolonační práce v jeskyni Tetínské propásky (č. 13-024A, 13-024B), která také může souviset s celým systémem.

2. Sledované objekty

Poloha studovaných objektů je znázorněna v mapce (obr. 1).

¹ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21, Praha 1, Česká republika; zak@cgu.cz

² Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky, Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

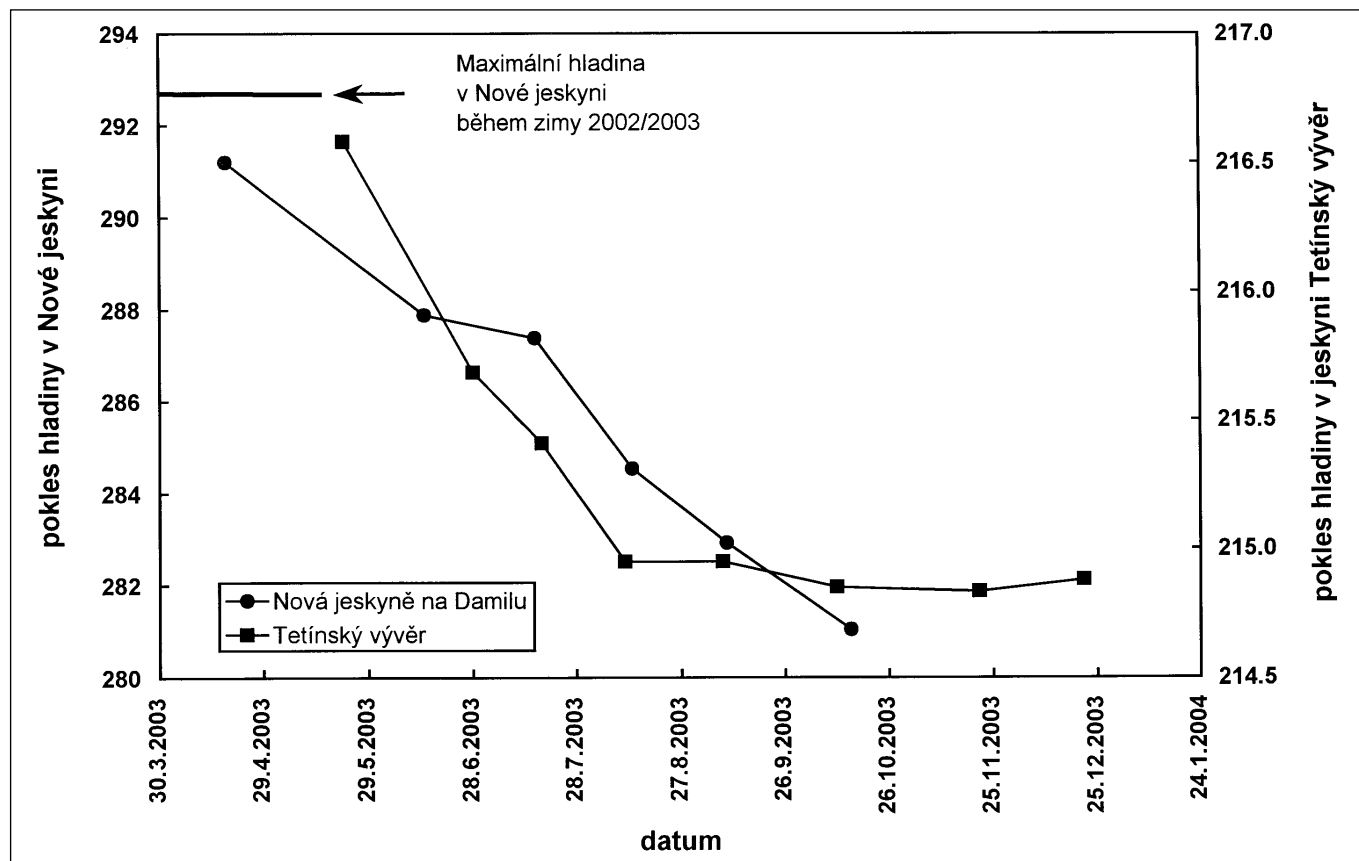
³ Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6

Poděkování: Za umožnění přístupu do jeskyní a častou technickou pomoc děkujeme členům České speleologické společnosti, ZO 1-02 Tetín, zejména J. Zelinkovi, M. Majerovi a M. Hejnovi. F. Buzkovi děkujeme za analýzy izotopového složení dusíku nitrátů. V. Lysenko a J. Hromas přispěli informacemi o starší stopovací zkoušce v tomto systému. Výzkum byl finančně podpořen projektem Grantové agentury ČR č. 205/02/0449 s názvem „Jeskynní sedimenty a vývoj krasových jevů v údolí řeky Berounky v Českém krasu“ a výzkumným záměrem číslo MSM 1131 00006.

Čes. kras (Beroun), 30 (2004), 45-50, 4 obr., 2 tab.

ISSN 1211-1643

ISBN 80-902098-8-2



Obrázek 2. Pokles hladiny v Nové jeskyni na Damilu (ev. č. 12-003) a v jeskyni Tetínský vývěr (ev. č. 12-001).

Figure 2. Drop of water level in Nová jeskyně Cave at Damil Hill and in Tetínský vývěr Cave.

2.1. Pramen pod Domášovem

Pod název Pramen pod Domášovem (pramen č. 89 v práci Kadlecová a Žák, 1998) shrnujeme vydatné vývěry podzemních vod podél linie tobolské poruchy, z. od vrchu Domášova. Tobolská porucha je výrazná strmá zlomová linie zhruba severojižního směru, která ohraničuje na z. straně devonské vápence Domášova a Tobolského vrchu. Dále na západ od této poruchy již vystupují nekrasovější horniny siluru.

Hlavní vývěr vod v prameništi pod Domášovem je již od roku 1893 jímán pro vodovod obce Tetín (Brajerová 1995). V horní části prameniště byl na podzim roku 1991 odvrtný vrt TE-1 hloubky 60 m, s ověřenou vydatností minimálně 2 l.s^{-1} (Pilařová 1992), z vrtu v současnosti vytéká přepadovou hadicí zhruba 1 l.s^{-1} . Celková vydatnost všech vývěrů v tomto prostoru je odhadem v rozmezí 3 až 6 l.s^{-1} . Větší část vody po většinu roku odtéká z prameniště mimo spotřebu (při zhruba 700 obyvatelích Tetína a několika menších firmách může být spotřeba vody v obci zhruba do 2 l.s^{-1}). Nedaleko pod oplocením jímacího zařízení tetínského vodovodu se odtékající přebytečné pramenné vody dostávají do území tvořeného devonskými vápenci a postupně, v posledních letech spíše nesoustředěnou infiltrací, vstupují zpět do podzemí. Cílek (1992) uvádí v tomto prostoru částečně otevřený ponor. Za mimořádně vysokých vydatností pramenů a při vysokých stavech podzemních vod (jako ve druhé polovině zimy 2002/2003) se povrchový tok prodlužuje po lukách mezi Damilem a Kodou a vody se většinou ztrácejí po podzemí až při spodním okraji těchto luk, zhruba 600 m nad okrajem obce Tetín (viz též Skřivánek a Stárka 1955). J. Hromas (ústní sděl.) popisuje ponor až těsně pod koncem luk v lese pod strmým zahloubením koryta (aktivní v roce 1966). V tomto místě kopali později sondu tetínští jeskyňáři. Po přívalemých srážkách výjimečně teče povrchový tok celou délkou údolí až do Tetína a Tetínskou roklí do Berounky. Nadmořská výška prameniště je zhruba 335 m n.m., v místě kde se vody za běžných průtoků ztrácejí nedaleko pod jímacím objektem do podzemí zhruba 331 m n.m.

2.2. Nová jeskyně na Damilu

Jeskyně byla objevena ve dně Modrého lomu na Damilu během těžby v roce 1953 a byla zdokumentována F. Skřivánkem a V. Hodáčem (Skřivánek 1953; Skřivánek a Kučera 1962). Jeskyně měla nadmořskou výšku původního vchodu ve dně lomu zhruba 306,2 m n. m (Živor 1996). Vchod jeskyně leží 200 m mimo osu údolí mezi Damilem a Kodou (dno údolí v tomto profilu je v 300 m n.m.), ale geologicky jeskyně leží zhruba v ose synklinály Damilu. Známé jeskynní prostory zasahují do hloubky více než 27 m pod vchod, tedy do 278 m n. m. V době objevu v roce 1953 byla v jeskyni tři menší jezera, s hladinou přibližně v 285 m n.m. Krátce po objevu bylo propastovité ústí jeskyně ve dně lomu zavaleno.

Vchod ve dně lomu se podařilo tetínským jeskyňářům znovu nalézt pomocí buldozeru až v roce 1989 (Pecka 1990). Jeskyně byla v této době bez stálé hladiny podzemní vody. Tím došlo i k objevu pokračování v části, která byla při původním objevu zaplavena. Jeskyně tím dosáhla délky známých prostor 156 m (Živor 1996). V 90. letech došlo opět k zavalení vchodu postupující skládkou a tím byla jeskyně podruhé ztracena.

Potřetí byl vchod odkryt jeskyňáři ČSS ZO 1-02 Tetín pomocí bagru dne 18.4. 2003. Při tomto třetím „objevení“ stála v jeskyni hladina podzemní vody ve spodní části tzv. Samovy chodby, zhruba na 291,20 m n. m. Maximum, dosažené pravděpodobně během února až března 2003, zaznamenané podle vodní čáry na stěnách, bylo na 292,70 m n.m. Při otevření jeskyně plavaly na hladině vody drobné destičky kalcitu, vysráženého z přesycené podzemní vody (cave rafts). Ty pokrývaly místy i stěny jeskyně. Voda v dalších měsících postupně klesala, zcela zmizela z nejhlubší části jeskyně v listopadu 2003. Celkový dokumentovaný vertikální rozkmit hladiny podzemní vody v jeskyni je tedy přibližně 15 m. Postupný pokles hladiny podzemní vody v jeskyni v průběhu roku 2003 je znázorněn v obr. 2.

Rozkmit hladiny je tak řádově podobný dalším jeskyním v Českém krasu: Čefinka – 27 m a Arnoldka – 32 m, které byly v minulosti detailně sledovány (Bruthans 1999; Zapletal, Vysoká a Kolčava 2003).

2.3. Tetínská rokle

Do Tetínské rokle jsou v posledních několika letech (od stavby kanalizace v Tetíně v roce 1992) vypouštěny odpadní vody z obce, které se mísí s různým podílem vod vystupujících hlavně z terasových štěrků. V současnosti (rok 2004) je tok vody v úseku nad skalním stupněm – „vodopádem“ trvalý. Pod skalním stupněm vody vtékají do prostoru bývalého lomu Pod Hradem. Dříve se obvykle ztrácely v místě, kde byla nejprve v letech 1967–1968 řevnickou jeskyňářskou skupinou a později od roku 1977 tetínskými jeskyňáři kopána tzv. Sonda pod Tetínskou chodbou (č. 13-025). Dnes je sonda zcela zaplněna závalem a materiálem přinášeným tokem a infiltrační cesty v této oblasti jsou špatně propustné. Vody se většinou postupně ztrácejí do krasového podzemí v celém spodním úseku rokle pod skalním stupněm, při větších srážkách dotéká tok až do řeky Berounky. Vzhledem k postupné kolmataci potůčného koryta kaly se trvalý tok postupně prodlužuje, v současnosti (jaro 2004) již dosahuje prakticky až železniční trati.

Po přívalových deštích v první polovině srpna 2002 došlo v Tetínské rokli asi 50 m nad železniční trati k obnažení skalního dna. Dne 14.8. 2002 se voda toku zcela ztrácela 30 m pod vodopádem v množství cca 3 l.s⁻¹ (teplota 14,1 °C, konduktivita 890 µS/cm). Zhruba stejné množství vody vyvěralo z hrubých sutí na skalním dně (14,1 °C, 590 µS/cm) a vlévalo se o 3 m dále do vzdutých vod řeky Berounky (15,6 °C, 230 µS/cm). Podle vyšší konduktivity a teploty lze usuzovat, že se jednalo o vodu z ponoru pod vodopádem, která pokračovala štěrkovou výplní rokle.

Z hydrogeologicky významných lokalit v Tetínské rokli lze jmenovat jeskyni Oblézačka (č. 13-023), ve které se objevuje voda při vysokých stavech hladiny řeky Berounky. Při srpnové povodni v roce 2002 hladina v jeskyni dosáhla stejné úrovně, jako byla kulminace v nedaleké řece (trvalá povodňová značka umístěná v jeskyni Oblézačka je na 220,42 m, kulminace u Tetínské vyvěračky byla na 220,51 m n.m., kulminace u ústí Tetínské rokle na 220,33 m n.m.). Dno jeskyně Oblézačka bylo při povodni vzdáleno od břehu řeky jen asi 20 m (viz Černý a kol. 2003).

Zatím zcela nejasnou otázkou je, odkud se dostávají, resp. dostávaly vody do Terasové jeskyně (č. 14-007), která se nachází v lomu Montánka (Kavčí díry) asi 800 m směrem po proudu Berounky od vyústění Tetínské rokle, strukturně ve směru podél tetínského nasunutí. V jeskyni jsou nápadné hladinové čáry ve výškovém rozmezí 233 až 236 m n. m., tedy zhruba 11 až 14 m nad kolejemi trati CD a 21 až 24 m nad hladinou Berounky v tomto profilu.

Z povodňové čáry s výškou 233 m n. m. byl odebrán vzorek pro malakologickou analýzu a určení přibližného stáří měkkýší thanatocenózy. Celkem bylo zjištěno 7 druhů měkkýšů, z nichž všichni jsou zástupci terestrických plžů (tab. 1). Thanatocenózu tvořily jak lesní prvky *Cochlodina laminata*, *Alinda biplicata* a *Discus rotundatus*, tak prvky vázané především na otevřená stepní stanoviště (*Cecilioides acicula*, *Vallonia costata*, *V. excentrica*, *V. pulchella*). V našem případě se jedná o druhy většinou biostratigraficky nepřilší významné s výjimkou plže *Cecilioides acicula*. Jde o moderního imigranta, který se v u nás objevil až v mladém holocénu. Vzhledem k jeho výskytu můžeme říci, že povodňové čáry jsou nejspíše mladoholocénního stáří. Zároveň bylo shledáno, že žádné z ulit zjištěných plžů nenesou znaky recentního vzhledu, neboť u nich zcela chybí organická (konchinová) vrstva. Můžeme tedy vyloučit i vysloveně recentní původ ulit. Vzhledem k tomu, že se nemůže jednat o průnik vod říčních, nelze vyloučit, že i tato jeskyně může být (byla) dotována vodami ze studovaného hydrogeologického systému v oblasti Tetína. Nápadná hladinová čára (smytí výkvětů sekundárních sulfátů) je i v jeskyni č. 13-006 Tetínská chodba v Tetínské rokli, zhruba na 235 m n. m.

2.4. Tetínský vývěr a jeho chování během srpnové povodně roku 2002

Za Tetínský vývěr zde považujeme nejen občasný vývěr podzemních krasových vod ve vlastní jeskyni Tetínský vývěr (č. 13-001), která se nachází 290 m od ústí Tetínské rokle směrem k Berouně, zhruba 10 m od železniční trati, u paty Tetínských skal, ale i stálý vývěr krasových vod přímo do toku řeky Berounky, který je patrný podél jejího břehu na několika místech v úseku dlouhém zhruba

Ekoskupina Ecological group	Seznam druhů List of species	Počet jedinců No. of individuals
A	<i>Cochlodina laminata</i> (Montagu, 1803)	1 juv.
	<i>Alinda biplicata</i> (Montagu, 1803)	3
	<i>Discus rotundatus</i> (O. F. Müller, 1774)	18
B	<i>Cecilioides acicula</i> (O. F. Müller, 1774)	5
	<i>Vallonia costata</i> (O. F. Müller, 1774)	1
	<i>Vallonia excentrica</i> Sterki, 1893	1
	<i>Vallonia pulchella</i> (O. F. Müller, 1774)	14
Celkem / Total		43

Tabulka 1. Měkkýší thanatocenóza z povodňové čáry v Terasové jeskyni. Vysvětlivky ekoskupin: A – les všeobecně, B – bezlesí všeobecně.

Table 1. *Mollusc thanatocoenosis from flood line in Terasová Cave.* Explanation to ecological groups: A – forest in general; B – open habitats in general.

20 m. Trvalé vývěry do řeky jsou nejzřetelnější v zimě, podle tání příbřežního ledu v řece, poprvé byly v literatuře zmíněny Kadlecovou a Žákem (1998), detailně zkoumány Nakládačem a kol. (2004). Ten na základě teplotních měření pod stálým vývěrem do Berounky odhadl vydatnost systému na více než 20 l.s⁻¹ a poprvé také publikoval chemismus vyvěrajících vod.

Tetínskému vývěru byla již v minulosti věnována značná pozornost a pozorování jeho nepravidelné aktivity je uvedeno v řadě publikací. První podrobnější zmínky o jeskyni Tetínský vývěr uvádí Petrbock (1942, 1949), který popisuje první známý vývěr krasových vod v roce 1941 a spekuluje o pravděpodobné hydrogeologické funkci vývěru. V první z obou prací uvádí, že vývěr nastal po prvním jarním tání, v druhé práci z roku 1949 jej dává do souvislosti s deštivým rokem. Vývěr podle něj nemá souvislost s občasným povrchovým tokem v Tetínské rokli, který zde v tomto deštivém roce vytvářel nápadný vodopád. Publikuje také jednu fotografii vyvěračky po vyčištění a úpravě odtokového koryta. Stárka (1957) popsal činnost vyvěračky po vydatných červencových deštích roku 1954 a doplnil tento krátký článek schématickou kresbou svojí představy funkce Tetínského vývěru. První známý vývěr klade do roku 1940, tedy odchýlně od údajů J. Petrbocka. Plot (1982, 1983) popsal chování vyvěračky v letech 1981–1982. Voda začala vyvěrat od 19.7. 1981 a vyvěrala i po povodni (povodeň tehdy kulminovala 20.7. 1981 zvýšením v krasovém kaňonu řeky zhruba o 5,3 m nad nízký letní stav, Žák 2002). Během roku 1982 voda v prostoru dále klesala a od září 1982 započaly prolonační práce. Živor (1996) a Kadlecová a Žák (1998) zmiňují vývěr vod ve srážkově bohatém roce 1995 (od června do září, vydatnost až několik l.s⁻¹). Svoje představy o chování systému publikoval i Pecka (1999). Lysenko (1999) doplnil diskusi o Tetínském vývěru o některé dosud nepublikované údaje o historii výzkumu a prolonační v dutině a publikoval podrobná data o činnosti vývěru v červnu a červenci roku 1965. Vývěr měl v tomto období vydatnost až 5,5 l.s⁻¹ a teploty v rozmezí 8,9 až 10,5 °C. Rok prvního zaznamenaného vývěru uvádí (stejně jako Stárka 1957) v roce 1940, odchýlně od Petrbocka (1942). Vývěr byl aktivní i v roce 1966, kdy byla provedena stopovací zkouška (viz níže).

Při srpnových povodních roku 2002 a v dalším období bylo u vývěru usku- tečněno několik návštěv, spojených s odběrem vzorků vody. Po povodních byla výškově zaměřena běžná hladina řeky Berounky (při běžném stavu 100 cm na vodočtu v Berouně je hladina řeky u Tetínského vývěru v 213,10 m n. m.) tak i maximální hladina povodně ze srpna 2002: maximální stav na vodočtu v Berouně 796 cm, kulminace v místě u Tetínského vývěru nastala mezi 23. a 24. hodinou dne 13. 8., byla na 220,51 m n. m., tedy zvýšení v tomto profilu údolí bylo zhruba o 7,4 m. Ve středu 14.8.2002 v 10:00 hodin (cca 10 hod po kulminaci) byla hladina Berounky zhruba 0,5 m pod maximálním stavem. Jeskyně a odtokové koryto bylo vyplněno říční vodou (15,6 °C), aniž by byl zřetelný její pohyb. V 17:00 hodin téhož dne byla hladina řeky již asi 1,5 m pod kulminací a rychle klesala. Ústí jeskyně Tetínský vývěr bylo stále ještě zaplaveno kalnou říční vodou, která stála v odtokovém korytě a pomalu, průtokem cca 5 l.s⁻¹ (hrubý odhad podle průřezu koryta a rychlosti proudění), se vracela do řeky. Při další návštěvě

Složka	Metoda	Jednotka	Berounka u Podtrátové j. 24. 4. 2003, po vlhké zimě	Berounka u Podtrátové j. 7. 9. 2003, po suchém létu	Berounka u Tetínském vývěr. 8. 9. 2003, po suchém létu	Berounka u Podtrátové j. 15. 1. 2004 (po odchodu ledů)	Jezero v Podtrátové jeskyni, 24. 4. 2003	Jezero v Podtrátové jeskyni, 7. 9. 2003	Jezero v Podtrátové jeskyni, 15. 1. 2004	Tetínská vyvěračka 17. 8. 2002, vývěr po povodni	Tetínská vyvěračka 18. 8. 2002, vývěr po povodni	Tetínská vyvěračka 26. 4. 2003, stagnující voda	Tetínská vyvěračka 8. 9. 2003, stagnující voda	Vývěr do řeky u Tetínském výv. 8. 9. 2003	Nová j. na Damilu, jezero, 19. 4. 2003	Nová j. na Damilu, jezero, 9. 9. 2003	Vrt pod Domášovem, 9. 9. 2003	Jezero lom Kosov, 8. 9. 2003	Menglerova jeskyně, jezero 26. 4. 2003	Menglerova jeskyně, jezero 8. 9. 2003	Tomášková propast, jezero 24. 4. 2003	Tomášková propast, jezero 9. 9. 2003	Jeskyně Dynamika, jezero 26. 4. 2003	Jeskyně Dynamika, jezero 8. 9. 2003
Li ⁺	FAAS	μg/l	<2,00	13,00	12,00	7,40	<2,00	5,00	3,70	nest.	nest.	<2,00	3,00	6,00	nest.	66,00	5,00	39,00	<2,00	5,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
NH ₄ ⁺	PMT	mg/l	0,38	0,52	0,36	0,43	0,25	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,16	0,05	0,03	0,16	0,11	0,04	0,06	0,02	0,03	0,06	0,27	0,18	0,32
Na ⁺	FAAS	mg/l	18,53	31,50	32,20	22,50	4,73	6,06	3,64	17,68	17,11	14,02	17,16	15,98	18,96	21,95	8,80	56,94	12,95	12,74	1,44	1,70	3,86	6,31
Mg ²⁺	FAAS	mg/l	12,61	16,41	17,41	10,65	17,65	19,03	21,76	24,79	24,62	23,48	26,88	27,79	35,51	47,91	17,50	73,44	12,97	15,58	18,95	22,60	17,60	21,30
Al	FAAS	mg/l	<0,20	<0,20	<0,20	0,58	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,90	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,20	<0,20	<0,20
K ⁺	FAAS	mg/l	4,98	8,61	8,15	6,13	2,01	2,15	1,56	6,56	6,28	4,39	5,21	4,42	5,95	7,11	1,11	3,44	4,29	4,29	0,92	1,12	2,36	2,84
Ca ²⁺	FAAS	mg/l	43,8	54,5	63,5	39,2	129,5	143,8	85,2	182,5	183,6	196,7	203,8	203,2	203,9	224,6	206,0	302,0	75,2	84,0	66,0	70,6	67,7	82,0
Mn ²⁺	FAAS	μg/l	<5,0	14,0	11,0	142,1	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	5,0	<5,0	12,0	6,0	<0,6	<5,0	13,0	9,0	<5,0	6,0	<5,0	5,0	<5,0	<5,0
Fe	FAAS	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,54	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn ²⁺	FAAS	μg/l	<10,0	16,0	27,0	nest.	<10,0	13,0	<10,0	9,0	11,0	<10	19,0	31,0	<2,0	15,0	30,0	25,0	<10,0	44,0	<10,0	20,0	<10,0	56,0
(HCO ₃) ⁻	TITR	mg/l	97,6	143,4	152,6	61,0	289,8	305,1	210,5	323,4	326,5	326,5	323,4	317,3	320,4	323,4	292,9	119,0	198,3	213,6	161,7	167,8	177,0	201,4
(NO ₃) ⁻	HPLC	mg/l	13,8	7,3	16,6	36,3	20,8	31,2	12,3	106,0	108,0	76,9	114,4	114,6	93,1	138,8	113,6	2,3	6,3	10,0	4,2	6,3	25,6	29,2
F ⁻	ISE	mg/l	0,17	0,20	0,20	0,15	0,21	0,17	0,19	0,21	0,19	0,13	0,15	0,15	0,21	0,20	0,17	0,25	0,23	0,24	0,29	0,28	0,22	0,18
SiO ₂	FAAS	mg/l	<2,0	4,4	3,4	nest.	8,9	8,2	nest.	nest.	nest.	10,8	11,1	10,3	9,8	9,2	12,4	5,8	11,5	10,8	4,6	3,5	8,0	7,5
(SO ₄) ²⁻	HPLC	mg/l	69,4	72,1	79,8	58,6	99,4	101,0	105,6	178,0	181,0	169,0	173,2	175,9	258,0	296,0	147,6	926,0	64,6	55,8	95,8	92,7	82,0	69,4
Cl ⁻	HPLC	mg/l	27,00	35,51	38,10	38,52	14,20	12,40	7,39	46,60	47,10	42,50	45,61	43,15	46,30	41,60	46,79	28,32	17,70	16,55	4,50	4,03	10,70	7,00
pH	ISE		6,60	6,98	8,12	6,46	7,12	7,28	7,80	7,09	7,22	6,76	7,22	7,21	7,02	7,19	7,20	7,71	6,85	7,60	7,05	7,30	6,61	7,66
Kond.	CDM	μS/cm	383	545	576	416	616	749	567	1087	1127	922	1157	1094	1113	1380	1102	1840	458	548	441	506	457	545

Tabulka 2. Typické chemismy vod sledovaných objektů a v některých dalších hydrogeologicky významných jeskyních Českého krasu. Laboratoře České geologické služby, Praha.

Table 2. Typical chemical composition of waters in studied objects and in some other hydrogeologically important caves of the Czech Karst. Labs of the Czech Geological Survey, Prague.

17.8. v 17:00 byla hladina řeky již zhruba 2 m pod úrovní dna odtokového žlabu z jeskyně. Z jeskyně vyvěrala čirá voda s teplotou 9,9 °C, s vydatností zhruba 5 l.s⁻¹. Chemismus vody (tab. 2.) jednoznačně ukazuje, že se již nejednalo o vodu říční ale vodu podzemní ze systému krasového vývěru. Stejný stav co se teploty a vydatnosti týče byl i 18.8. v 17:00, kdy byl odebrán další vzorek na analýzu, chemismus byl v podstatě identický předchozímu dni. Voda přestala z jeskyně Tetínský vývěr samovolně vytékat odtokovým žlabem dne 3.9. 2002 (L. Pecka, úst. sděl.). Teplota vody stagnující v prostoru byla v té době 9,9 °C.

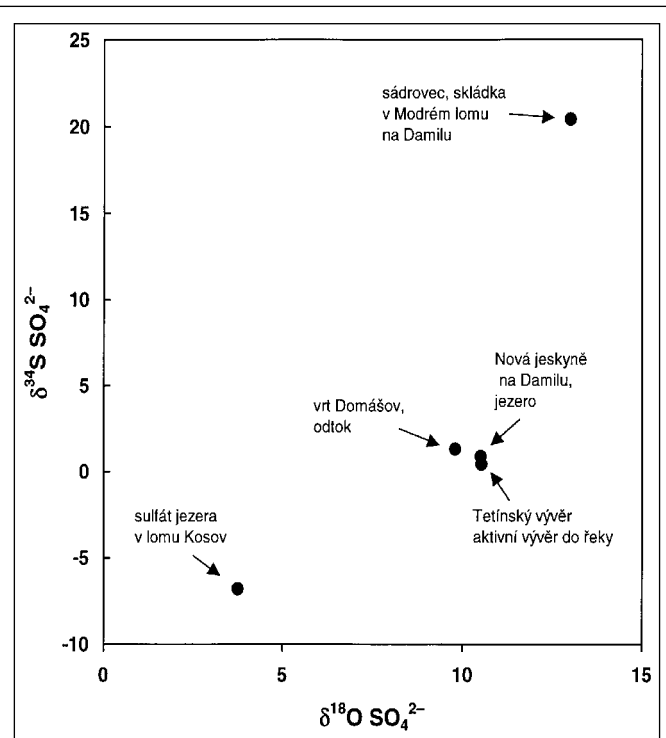
K dočasnému obnovení činnosti vyvěračky došlo zřejmě během ledna a zejména února 2003 (přetok pozorován 8.2. 2003). V té době dosahoval tok od Domášova až téměř na spodní konec luk (600 m nad Tetínem). Brzy na jaře roku 2003 voda stála jen těsně pod úrovní odtokového žlabu. Hladina stagnující vody v prostoru jeskyně potom v dalším období velmi pozvolna klesala (obr. 2). Další vzorky stagnující vody na analýzy byly odebrány 26.4. 2003 a 8.9. 2003, kdy byl vzorkován i přímý vývěr do řeky Berounky.

Po celé toto více jak jeden rok dlouhé období od srpnových povodní roku 2002 až do podzimu roku 2003 byl chemismus vývěru velmi stálý (viz tab. 1, viz též chemismy vod publikované Nakládačem a kol. 2004). Vzorky vody z Tetínského vývěru jsou charakterizovány velmi vysokými koncentracemi nitrátů okolo 100 mg.l⁻¹ a sulfátů v rozmezí 169 až 181 mg.l⁻¹. Ve vzorcích vyvěrající vody dne 17. a 18.8. bylo stanoveno i izotopové složení dusíku nitrátů ($\delta^{15}\text{N}$ dne 17.8. +3,7 ‰, dne 18.8. +4,8 ‰), které naznačuje, že se jednalo o směsný nitrát s převahou dusíku z průmyslových hnojiv a menším podílem z organické hmoty (resp. statkových hnojiv). Vzhledem k nízkému obsahu amonných iontů lze v podstatě vyloučit, že by vývěr souvisel se odpadními vodami, které mizí pod vodopádem v nedaleké Tetínské roklí.

3. Chemismus vod sledovaných objektů

Tabulka 2 ukazuje typické chemismy vody v prameni pod Domášovem, v Nové jeskyni na Damilu a v Tetínském vývěru. Pro srovnání jsou uvedeny i chemismy několika dalších zaplavených jeskyní v okolí řeky Berounky. Tato data ukazují, že chemismus vod v prameni pod Domášovem, Nové jeskyni na Damilu a v Tetínském vývěru vykazuje shodné znaky (vysoké koncentrace sulfátů, nitrátů

a chloridů, vyšší koncentrace hořčičku) a je přitom odlišný od ostatních sledovaných zaplavených jeskyní v údolí Berounky. V případě studovaného systému se jedná o vody, jejichž chemismus je částečně určován horninami barrandienského siluru a devonu, v kombinaci s rozhodujícím vlivem zemědělské činnosti. Pro posouzení podobnosti těchto vod bylo porovnáno i jejich izotopové složení síry



Obrazek 3. Izotopové složení síry a kyslíku sulfátů ve vodách. Data z Laboratoře stabilních izotopů České geologické služby, Praha.

Figure 3. Isotopic composition of sulphur and oxygen in sulphates from waters. Data of Stable isotope laboratory, Czech Geological Survey, Prague.

a kyslíku rozpuštěného síranu. Pro porovnání byla analyzována i voda stagnující v jezeře na spodní etáži lomu Kosov, v prostředí hornin silurského stáří (sulfátové jezero v lomu Kosov má vyšší koncentrace sulfátu, než známé Kamencové jezero u Chomutova, na rozdíl od něj má však vysoké pH).

4. Využití izotopového složení síry a kyslíku sulfátu jako přirozeného stopovače

Pro sulfátem bohaté vody jsou velmi užitečným přirozeným stopovačem původu rozpuštěného sulfátu, přítomného v podzemní vodě, poměry stabilních izotopů síry a kyslíku sulfátu. Kombinace stanovení obou těchto izotopových poměrů je sice analyticky náročná a poměrně nákladná, může však přinést důležité informace o původu sulfátu. Metodické postupy zpracování vzorků a způsob vyjadřování výsledků jsou v české psané literatuře zpracovány například Hladíkovou (1988), speciálně aplikací izotopových dat kyslíku a síry sulfátu v podzemních vodách se zabývali například Šmejkal a Dubánek (1990). V oxidačním prostředí krasových vod není bakteriální redukce sulfátu obvykle významná a izotopové složení sulfátu se chová velmi konzervativně, tedy je ovlivňováno zejména zdroji sulfátu a jejich míšením. Na obrázku 3 jsou znázorněna data izotopového složení síry a kyslíku sulfátu studovaných objektů.

Sulfát jezera v lomu Kosov (v koncentraci okolo 1 g.l⁻¹) je jak podle izotopového složení sulfátové síry, tak i podle izotopového složení sulfátového kyslíku jednoznačně sulfát vzniklý oxidací pyritu v horninách siluru. Pro sulfidogenní sulfáty jsou typické nízké hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ sulfátu, pod +5 ‰ (SMOW). Sádovec hojný v závážce v Modrém lomu nad Novou jeskyní na Damilu má hodnoty izotopového složení síry i kyslíku typické pro mořský sulfát. Ani jeden z těchto zdrojů se ale na tvorbě sulfátové mineralizace ve vodě studovaného systému dominantním způsobem neprojevil. Izotopová složení síry i kyslíku sulfátu vody z vrtu TE-1 pod Domášovem, jezera v Nové jeskyni a aktivního vývěru Tetínské vyvěračky do Berounky jsou si velmi blízká. Podle izotopového složení síry se v těchto případech jedná o sulfáty, které pocházejí převážnou měrou ze zemědělských hnojiv (síran amonný, sírany ve fosfátových hnojivech mají podle dostupných dat hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ zhruba mezi +2 a +8 ‰ CDT). Sblížený charakter těchto vod

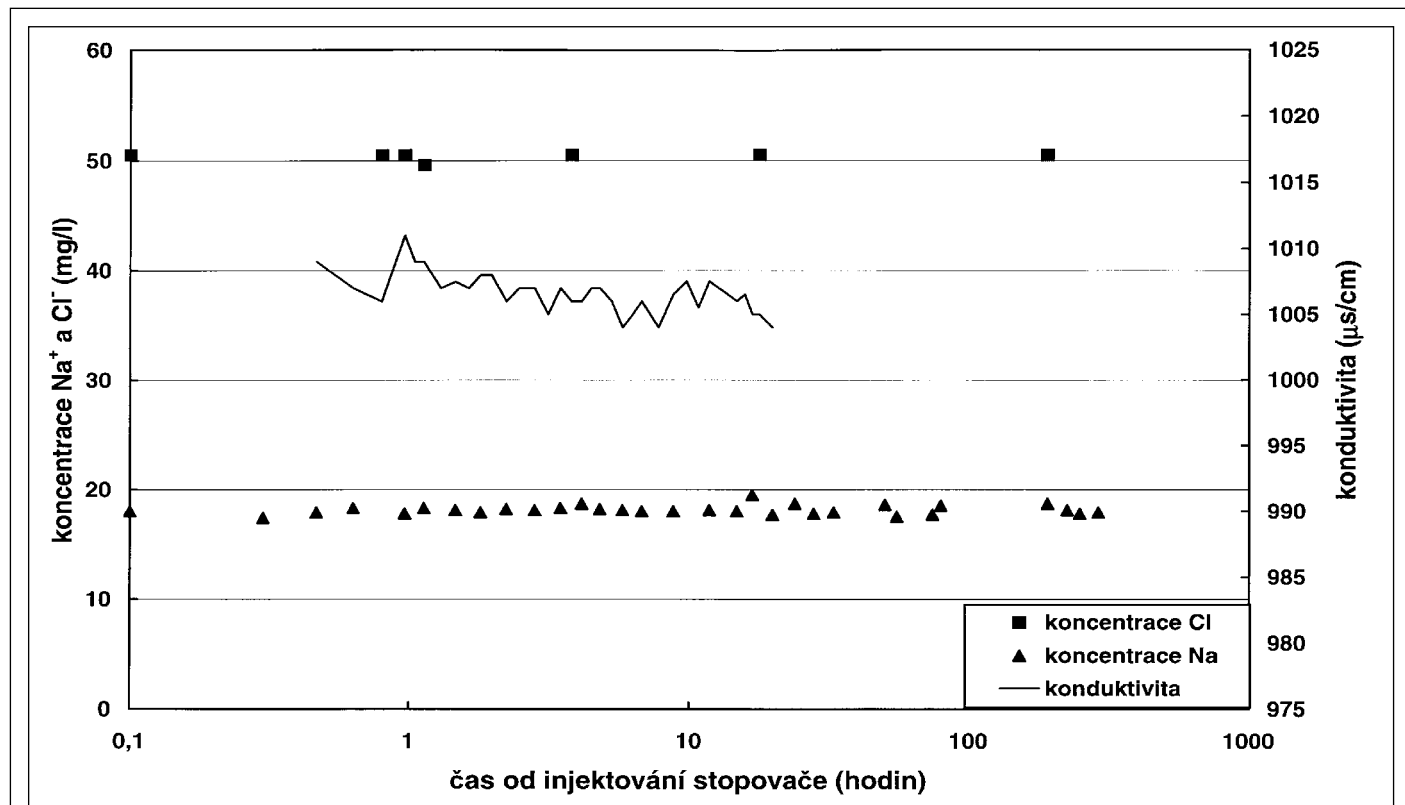
naznačují i podobné vysoké koncentrace nitrátů (okolo 100 mg.l⁻¹), které podle izotopových dat dusíku také pocházejí ze zemědělské činnosti.

5. Stopovací zkoušky

Zřejmě první, již polozapomenutou stopovací zkoušku provedli na podzim roku 1966 J. Hromas a členové Vlastivědného klubu v Berouně (přesné datum není známo). Z mostu v Tetíně vlili do potoka 3 kg fluoresceinu rozpuštěného v 48 l denaturovaného lihu. Tetínský vývěr byl v té době aktivní (teplota vyvěrající vody 8.11. 1966 byla 9,7 °C). Podle J. Hromase se stopovač v prameni neobjevil (vizuální indikace). Další stopovací zkouška, tentokrát z ponorného toku pod Domášovem, již provedena nebyla, protože ustal pět tok na Tetínském vývěru (J. Hromas a V. Lysenko, úst. sděl.).

V posledních letech byly provedeny dvě stopovací zkoušky, obě s negativním výsledkem. Při obou byl stopovač injektován do toku v Tetínském roklí pod „vodopádem“. Při první zkoušce byl použit NaCl v množství 19 kg (injektáž 16.5. 2000 v 13:15 hod). V nepravidelném intervalu byly během 12 dní odebírány vzorky z horní větve Tetínského vývěru, kde bylo v té době jezero o hloubce 20 cm. S odběry asistoval O. Zeman a J. Hahn. V žádném ze vzorků nebyl zjištěn nárůst sodíku, chloridů ani konduktivity nad přirozené pozadí (obr. 4).

Při druhé stopovací zkoušce bylo použito 50 g sodného fluoresceinu (injektáž: 28.11. 2003 do potoka pod vodopádem). Z obou větví Tetínského vývěru byly odebírány vzorky vody (interval nejprve 1x za 24 hodin, postupně prodlužován), ve kterých však nebyly zjištěny ani stopy barviva. Do obou větví Tetínského vývěru byly kromě toho umístěny patrony s aktivním uhlím, které byly postupně vyzvednuty v lednu 2004. Po vyloučení v laboratoři byl výluh analyzován na fluorimetru Perkin-Elmer 203, kde je možné zachytit i koncentrace menší než 0,001 mg.l⁻¹ fluoresceinu (detaily viz Zeman a Bruthans, 2002). V patronách nebyly zjištěny ani stopy barviva. Je proto pravděpodobné, že vody z Tetínské rokle nesměřují do Tetínského vývěru, ale buď pokračují v náplavech na dně rokle, nebo jinou podzemní cestou k Berounce. Výsledky stopovacích zkoušek jsou tak v souladu s publikovanými představami J. Petrboka. Pro definitivní vyloučení komunikace s Tetínským vývěrem by však bylo vhodné provést ještě jeden stopo-



Obrázek 4. Průběh obsahů sodíku, chloridů a konduktivity v průběhu první stopovací zkoušky. Kolísání konduktivity je dáno citlivostí přístroje (šum).

Figure 4. Sodium and chloride contents and conductivity during the first tracing test. The variation of conductivity depends on sensitivity level of apparatus.

vací pokus s větším množstvím fluoresceinu (1 kg) a dlouhou dobou sledování pomocí patron s aktivním uhlím.

Ve stagnující vodě v prostoru jeskyně Tetínský vývěr (horní větev) byla dne 28.5. 2000 realizována zředovací zkouška vlitím 1 kg rozpuštěného NaCl. K poklesu obsahu chloridů na úroveň blízkou pozadí došlo během 3 dnů, což naznačuje, že i tímto zdánlivě stagnujícím jezírkem voda aktivně protéká (aby bylo dosaženo pozorovaného zředění, muselo jezírkem za tři dny protéct přes 400 m³, tedy průtok více než 1 l.s⁻¹). V jiných jeskyních v Českém krasu trvalo ředění podstatně delší dobu: V propasti Na Čerince koncentrace výrazně nad pozadím i po 4 dnech, v jeskyni Arnolde ještě po 25 dnech. Pro aktivní pohyb vod v těsném okolí jezera Tetínského vývěru svědčí i relativně ustálená teplota vody. Teplota vody v jeskyni Tetínský vývěr byla sledována od roku 1996 do roku 2004 a všechna měření (celkem 27 odečtů) jsou v rozmezí mezi 9,0 a 9,9 °C, přestože se jezero nachází necelé 3 m od vchodu. Jedinou výjimkou bylo krátké období dne 14.8. 2002, kdy bylo ústí jeskyně zaplaveno říční vodou (viz výše).

6. Diskuse a závěr

Chemizmus vod a izotopové analýzy ukázaly velkou podobnost vod pramenů pod Domášovem, jezer v Nové jeskyni i Tetínského vývěru. Je pravděpodobné, že se jedná o vody z téhož zdroje (povodí s výraznou převahou zemědělsky využívaných ploch – polí). Protože v oblasti Damilu chybí větší obhospodařované plochy je zřejmé, že do Nové jeskyně směřují vody z polí, která se nacházejí dále na Z a JZ. Obsah nitrátů v obou pramenech je ve srovnání s dalšími zaplavenými jeskyněmi Českého krasu vysoký, což ukazuje na výraznou převahu polních ploch v povodí. Skutečnost, že se chemizmus vody směrem od pramene pod Domášovem k Tetínskému vývěru významně nemění naznačuje, že vliv vod z rozsáhlého Kodskeho polesí, předpokládaný Nakládelem a kol. (2004), není podstatný. Pro ověření spojitosti a odhad rozměrů a charakteru proudových cest by bylo zajímavé provést stopovací zkoušku buď z Nové jeskyně, nebo z ponoru pod Domášovem a sledovat Tetínský vývěr (zejména spodní větev). Vzhledem k očekávané dlouhé době zdržení (měsíce?) přichází k úvahu použití fluoresceinu a patron s aktivním uhlím. V Nové jeskyni bude vhodné nejprve provést zředovací zkoušku pro ověření intenzity proudění vody v jezerech.

Výsledky stopovacích zkoušek ukazují, že vody z potoka v Tetíně a v Tetínském roklí nesměřují do Tetínského vývěru, ale míří do Berounky jinou cestou.

Spád hladin mezi Novou jeskyní a Tetínským vývěrem (75 m výšky na 1 200 m vzdálenosti, 6,25 %) je vyšší než je obvyklé v jiných oblastech Českého krasu (1 až 3%; Bruthans 1999). Samotný velký spád hladin však nevylučuje existenci kontinuálních krasových kanálů s vysokou propustností. Je dobře známo, že v krasu je sklon hladiny často ovlivněn daleko více geometrií kanálů ve vertikálním řezu, než jejich propustností. Výbornými příklady jsou Chýnovská jeskyně v j. Čechách a vyvěračka Teplica na Slovensku, kde voda přepadá v rozměrných chodbách po skalních stupních vytvořených obnažením starých freatických chodeb se spádem přes 10 %. Velké kolísání hladiny v Nové jeskyni nicméně ukazuje značnou stísňenost odtokových cest (vyplnění sedimenty?).

Podle analogie s ostatními jeskynními systémy v Českém krasu je v podstatě vyloučena možnost volného jeskynního toku v neznámých částech Tetínského vyvěračky. Bude se spíše jednat o freatické kanály s pomalu proudící vodou zasahující do značných hloubek, rozdělené četnými úseky pod hranici průleznosti. Nelze vyloučit silné zaplnění sedimenty. Přesto je těsné okolí řeky Berounky a tím i širší okolí Tetínského vývěru nadějnou lokalitou pro speleologickou prospekci, neboť zde nelze vyloučit existenci rozsáhlejších labyrintů vzniklých infiltrační vodou z povodní.

Literatura:

- Brajerová J. (1995): *Procházka Tetínem*. – Obecní úřad Tetín: 1-28. Tetín.
- Bruthans J. (1999): *Hydrogeologické poměry Českého krasu severně od řeky Berounky*. – MS, Dipl. práce: 1-100, Přírodověd. Fak. Univ. Karlovy. Praha.
- Bruthans J., Zeman O. (2000): Nové poznatky o hydrogeologii Českého krasu. – *Čes. kras (Beroun)*, 26: 41-49.
- Bruthans J., Zeman O. (2001): Nové poznatky o charakteru a genezi podzemních krasových forem v Českém krasu a dalších oblastech bez soustředěných ponorů v České republice. – *Čes. kras (Beroun)*, 27: 21-29.
- Cílek V. (1992): Propady v Českém krasu. – *Speleo (Praha)*, 7: 47-48.
- Černý O., Šamonil P., Živor R., Machulka M. (2003): *Mapa Tetínské rokle se zákresem jeskyní v měřítku 1:500*. – MS, arch. Čes. speleol. Spol., Praha.
- Hladíková J. (1988): *Základy geochemie stabilních izotopů lehkých prvků*. – Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta přírodovědecká: 1-96. Brno.
- Kadlecová R., Žák K. (1998): Krasové prameny Českého krasu. – *Čes. kras (Beroun)*, 24: 17-34.
- Lysenko V. (1999): Redakční poznámka k Tetínské vyvěračce. – *Čes. kras (Beroun)*, 25: 43-44.
- Nakládal P., Hrdá J., Vysoká H., Goliáš V., Tetínáci (2004): Copak nám to teče pod Tetínem? – *Speleo (Praha)*, 39: 3-8.
- Pecka L. (1990): Znovuobjevení Nové jeskyně v Modrém lomu na Damilu. – *Speleo (Praha)*, 2: 35.
- Pecka L. (1999): Problematika Tetínské vyvěračky. – *Čes. kras (Beroun)*, 25: 39-43.
- Petrbok J. (1942): Holocenní měkkýši krasového vývěru pod Tetínem. – *Příroda*, 35: 2, 52-53.
- Petrbok J. (1949): Vývěr pod Turskou maštálí u Tetína. – *Čs. kras*, 2: 39-40. Brno.
- Pilařová M. (1992): *Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu*. Vrt TE-1. – MS, Geofond P 76982. Praha.
- Plot J. (1982): Zpráva o výzkumné a průzkumné činnosti speleologické skupiny Tetín za rok 1981. – *Čes. kras (Beroun)*, 7: 59-61.
- Plot J. (1983): Zpráva o výzkumné a průzkumné činnosti speleologické skupiny Tetín za rok 1982. – *Čes. kras (Beroun)*, 8: 63-64.
- Stárka V. (1957): Občasná vyvěračka v Českém krasu. – *Lidé a Země*, 6: 1, 28.
- Skřivánek F. (1953): Nová jeskyně na Damilu v Českém krasu. – *Čs. kras*, 6: 212-214. Brno.
- Skřivánek F., Kučera B. (1962): Krasové jevy na Damilu v Českém krasu. – *Čs. kras*, 13: 7-21. Praha.
- Skřivánek F., Stárka V. (1955): Krasové zjevy státní přírodní rezervace „Koda“ v Českém krasu. – *Ochr. Přírody*, 10: 6, 161-166. Praha.
- Šmejkal V., Dubánek V. (1990): Izotopické složení zdrojů sulfátové kontaminace podzemních a povrchových vod v blízkosti odkaliště energetického popílku. – *Vodní Hospodářství*, 40: 3, 114-118.
- Zapletal J., Kolčava M., Vysoká H. (2003): Zpráva o činnosti ZO ČSS Geospeleos z období 1998-2003 v Českém krasu. – *Čes. kras (Beroun)*, 29: 46-47.
- Zeman, O., Bruthans, J. (2002): Stopovací zkouška ze systému Lopače a nové poznatky o ostrovsko-vilémovických vodách. – *Speleofórum 2002*: 24-28. Praha.
- Žák K., Kadlecová R., Kadlec J., Kolčava M. (1996): Chování krasových pramenů ve Svatém Janu pod Skalou během mimořádných srážkových událostí v květnu a červnu 1995 a nový občasný ponor v údolí Propadlé vody. – *Čes. kras (Beroun)*, 22: 41-47.
- Žák K., Hladíková J., Buzek F., Kadlecová R., Ložek V., Cílek V., Kadlec J., Žigová A., Bruthans J., Štátný M. (2001): Holocenní vápence a krasový pramen ve Svatém Janu pod Skalou v Českém krasu. – *Práce Čes. geol. Úst.*, 13: 1-133. Praha.
- Živor R. (1996): Stručný popis zaregistrovaných jeskyní. – *Knih. Čes. speleol. Spol.*, 30: 15-22. Praha.